

车载航位推算导航实验设计与教学实践

黄裕婷^{1,*}, 张智讯², 张延顺¹, 刘惠兰¹

¹北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京, 中国

²北京师范大学文学院, 北京, 中国

*通讯作者

【摘要】实验教学是建设研究型大学, 培养具有创新型和实践能力和复合型人才的有效手段, 是践行“卓越工程师教育培养计划”的重要举措。本文针对导航专业学生专业培养需求和“惯性传感技术综合设计实践”课程大纲, 采用科研引领的教学方法, 引导学生进行创新性实验。提供硬件资源和研究思路, 让学生自行设计、完成实验, 并能实验结果进行检验。课堂实践结果表明, 学生感兴趣、小组讨论热烈、勇于创新、积极实践。通过课程, 学生在专业知识和科研思维方面都有了很大的提升。

【关键词】DR 导航; 实验设计; 航位推算; 惯性测量; 自主设计

1. 引言

随着社会的不断发展, 生活节奏越来越快, 导航定位正在变得越来越重要[1]。应用需求对导航专业的教学提出了要求。由于导航专业课程内容抽象、涉及学科较多, 采用理论教学与实验教学相结合的方法会取得较好的效果。特别是实验教学能让学生形象的理解所学的知识, 并能在实践中有所创新, 是提升教学质量和效果的有效方式。

航位推算(Dead Reckoning, DR)导航是自主导航的一种有效方式, 其在短时间内能够供给比较准确的导航参数, 抗干扰能力强, 隐蔽性好[2]。航位推算法最开始在船舶、车辆、飞机上使用。它是在知道自身当前位置的情况下, 测量之后这一段时间的路程和方向, 通过积分计算来估算下一刻位置的方法。其中最关键的路程信息是通过里程计(或测速仪)得到的[3]。近些年随着微电子技术和光学元件的飞速发展, 现在的加速度计、数字罗盘、陀螺仪, 在尺寸上大大减小, 同时成本和重量降低[4]。然而, 可靠性和精度却大大提高, 例如基于低成本的光学编码器的路程计, 精度已经可以满足日常使用的需要[5]。使得航位推算可以应用于更小的平台上。

本科教学的学生人数多, 实验场地和资金投入相对不足, 导致实验教学受限。为更好进行惯性技术相关课程的实验设计, 需要按应用需求、理论教学内容和具有的实验条件, 进行合理规划和设计。

本文在项目组研究成员多年课堂理论教

学、实验教学和科研工作的基础上, 融合光电导航和惯性导航系统特点。在“惯性传感技术综合设计实践”课程中将光电里程计引入到实验教学中, 通过他们与惯性测量信息的融合来实现定位。实验提供给学生搭建车载运动平台的部件和光电、惯性测量等传感器, 由学生进行实验系统设计, 并利用光学运动捕捉系统的高精度定位信息对DR导航系统的性能进行评估。本实验能培养学生动手实践能力、综合分析设计能力和创新能力, 符合社会应用对学生能力培养的需求。

2. DR 导航实验原理

DR 导航是在知道当前时刻位置的前提下, 通过积分到下一时刻测量的移动距离和方位, 推算出下一时刻位置的方法, 原理如图1所示[6]。

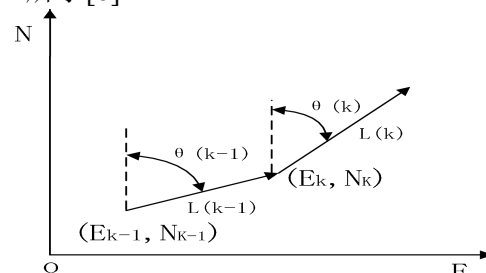


图 1. DR 导航原理图

图1中两个互相正交的坐标轴设定为参考坐标方向。当有方向基准时设为正东和正北方向。当没有坐标基准时只视为两正交坐标。 (E_{k-1}, N_{k-1}) 和 (E_k, N_k) 分别为前后两个行走时刻的位置坐标, $L(k-1)$ 和 $L(k)$ 分别为前后两次采样间隔间的距离变化值, $\theta(k-1)$ 和 $\theta(k)$ 是前后两次行走的航向

角。由当前时刻的距离变化值和航向角可以按照下面公式(1)推算出下一时刻运动目标的位置信息。依次类推,如果知道运动目标初始时刻的位置,还知道目标开始运动之后每一采样间隔间的距离变化值和航向角,便可以推算出后续任意时刻运动目标的位置[7]。

$$\begin{cases} E_k = E_{k-1} + L(k-1) * \sin(\theta(k-1)) = E_0 + \sum_{i=1}^k L(i-1) * \sin(\theta(i-1)) \\ N_k = N_{k-1} + L(k-1) * \cos(\theta(k-1)) = N_0 + \sum_{i=1}^k L(i-1) * \cos(\theta(i-1)) \end{cases} \quad (1)$$

由上式可知,航迹推算方法计算位置需要具备三要素,即:1)采样间隔;2)距离变化值(速度);3)方向(航向)。得到这三要素即能实现载体的自主定位。

3.实验设计

3.1 提供硬件资源

为能完成DR导航实验设计与实现。提供车载实验平台配件,学生利用配件能搭建自动循迹小车。小车上主控核心板、循迹模块、避障模块、控制模块、光电编码器、惯性测量模块、超声测速度模块等。车体相关配件组成如图2所示。



图2.车体配件用装配效果图

DR导航配送配件如图3所示。

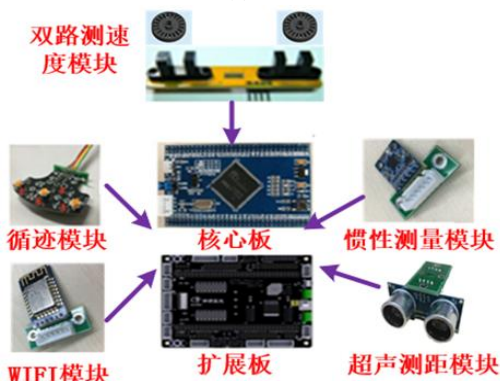


图3. DR导航配送配件

图3中光电测速度模块是由2对光电对管和塑料码盘组成,将码盘与车轴固定,车轴旋转带动码盘转动,导致光电对管收到光

脉冲信号,光脉冲数能反映轴转过的角度,还可以根据车轮半径计算转过的长度和小车速度。惯性测量模块中陀螺仪信息经过姿态更新能计算小车和航向和水平姿态[8]。超声测速模块能测量小车的速度和到障碍物间的距离[9]。循迹模块可控制小车沿指定路线行驶[10]。WIFI模块能将各传感器信息上传到上位机用于数据处理。

基于上述资源,学生可搭建DR导航实验的实验平台。

3.2 实验设计思路

根据学生培养需要和教学大纲要求,将科研工作引入实验教学,在开放式实验平台基础上,引入了自主实验设计教学模式,培养了学生综合设计、分析能力和动手能力。通过系统方案设计、器件选型、系统调试与性能评估全部流程的实现,训练学生的科研思维,为后续从事科研工作奠定基础。学生自主进行实验设计、实现系统调试,并利用三维运动捕捉系统作为室内位置评价基准对搭建系统和算法性能进行测试评估。实验流程如图4所示。

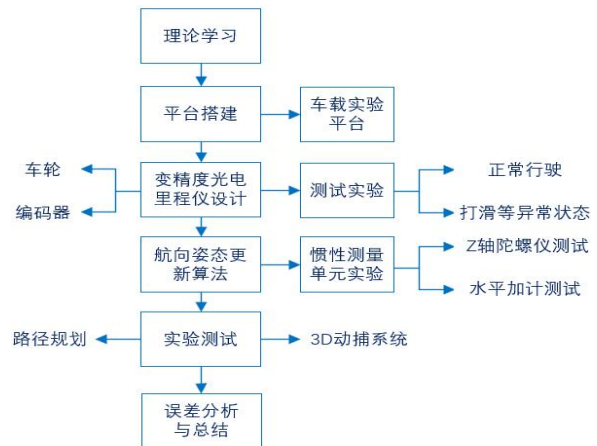


图4.实验设计框图

4.教学实践

根据以上设计思想,在课堂上对学生进行启发性教学。首先讲述基本原理,然后进行启发性总体方案讨论。

学生在此基础上,首先分组讨论确定总体方案,然后根据课程提供的硬件搭建相应的实验平台,在对各传感器进行性能测试、指标分析基础上,在三维光学运动捕捉系统环境下对进行DR导航系统进行测试分析,最终总结实验。

4.1 实验环境与设备

(1) 实验测试环境

实验小组根据图2和图3所示配件,搭

建车载实验平台如图 5 右上角所示。DR 导航实验测试可在图 5 所示跑道上进行，也可在图 6 所示的运动捕捉系统环境下进行。



图 5.车载实验平台及跑道



图 6.运动捕捉系统环境

应用图 5、图 6 所示环境和设备可对车载实验平台的导航运算结果进行测试与评估。

(2) 关键器件测试环境与设备

陀螺仪、加速度计和测速模块是本实验的主要传感器，其误差对 DR 导航结果有较大影响。因此，事先需要对其进行误差测试与标定。陀螺仪、加速度计和测速模块都安装在小车的底盘电路板上，因此测试时是在整车条件下测试、标定。其中，陀螺仪和水平加速度测试设备如图 7 所示。

在速率转台和位置转台上能对影响导航精度的陀螺仪和加速度计进行误差测试与标定。依据标定结果对陀螺仪和加速度计进行误差补偿后能大幅提高 DR 导航的精度。



图 7.车载平台和速率转台



图 8.车载平台和位置转台

4.2 测试结果

利用以上测试环境和测试设备，学生进行了传感器和 DR 导航结果进行了测试。

首先对光电里程仪输出脉冲和距离的系数进行了测试。结果如表 1 所示。

表 1.光电里程仪系数测试

组别	动捕测量(m)	累计脉冲数	单次计算系数
1	1.52	276	0.2203
2	2.85	519	0.2196
3	4.60	837	0.2198
4	3.20	581	0.2203
5	5.10	929	0.2196

由上表可见，光电里程仪系数测试均值为 0.2199，波动不大。

利用图 7、图 8 的设备对陀螺仪和加速度计的常值误差和标度因子进行了测试。结果分别为 0.1994 度/秒、1.046 和 0.0085g、0.9978。利用标定的参数对传感器误差补偿后，进行 DR 导航解算，并利用自身计算的结果与运动捕捉系统测量的结果对比，以对计算的结果进行评价。2 种方法提到的轨迹对比如图 9 所示。

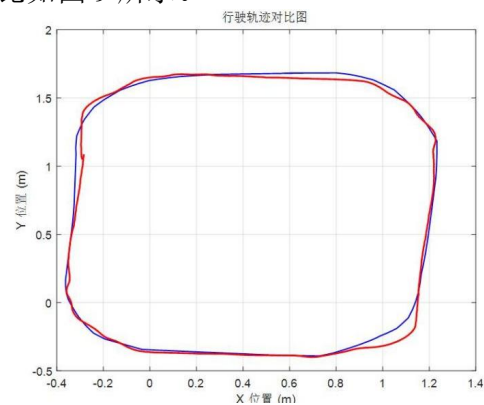


图 9. DR 导航与运动捕捉结果对比

通过上面学生实验报告提交的结果可见，

学生掌握了实验原理方法,具有创新性和科研能力,实验课达到教学效果。

5.总结

针对教学大纲中培养方案要求和学生专业基础特点,采用科研引领的教学方法,在教学内容中鼓励学生进行创新性、自主实验设计。通过给学生创造相应条件,让学生能把先进的理念融入课程实验中。对学生自主性设计实验方案进行鼓励与奖励,引导学生进行创新性实验。围绕惯性/视觉/光电里程计的硬件配置。向学生讲解科研思想、科研项目案例,科研项目的研究过程。针对内容,进行融合方法讲解,让学生掌握多源传感器的融合方法。本文方法在2024-2025年春季学期的“惯性传感技术综合设计实践”课程中进行了教学实践。实践中学生有很大的积极性,在课堂上认真思考、勇于实践,小组讨论热烈。最后都很好完成了实验任务,并在实验过程与老师进行导航与传感器方面知识的深入沟通与讨论。在专业知识和科研思维方面都有了很大的提升。

参考文献

- [1]邓成剑,陈起金,张提升,等.基于航位推算的车载组合导航系统NHC杆臂估计算法[J].北京航空航天大学学报,2025,51(02):668-675.
- [2]谷凌浩.基于多模式识别的行人航位推算方法研究[D].杭州电子科技大学,2025.
- [3]孙波,王伟.惯导定位精度评价方法研究[J].空间电子技术,2025,22(05):89-95.
- [4]白羽,柳景斌,杨晨云,等.智能手机Wi-Fi往返时间测距室内定位方法[J].测绘科学,2022,47(09):20-31.
- [5]Sergio R A, Noé O A, Javier S C, et al. Suppression of Noise to Obtain a High-Performance Low-Cost Optical Encoder[J]. Journal of Sensors, 2018, 20183458251: 1-3458251: 10.
- [6]李鑫,王晓鸣,武建国,等.基于SVM的航位推算误差补偿[J].水下无人系统学报,2024,32(06):1009-1017.
- [7]X. Hou, J. Bergmann. Pedestrian Dead Reckoning With Wearable Sensors: A Systematic Review[J]. IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 1, pp. 143-152, 1 Jan.1, 2021.
- [8]Zhang T, Zhao W, Zhu X, et al. Design of Multi-AGV System with Tracking, Collision Avoidance and Coordination[C]//International Association of Applied Science and Engineering. Conference proceedings of 2021 4th International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence (ACAi 2021). 2021:35-41.
- [9]华佩东.用多普勒效应公式速解一类习题[J].物理教学探讨,2005,(05):25-26.
- [10]邱晨曦.循迹避障智能小车设计及分析[J].专用汽车,2025,(07):36-41.